

# 钢箱系杆拱桥吊杆张拉顺序方案研究

赵君委, 邵志向, 房永祥

(长安大学, 陕西 西安 710064)

**摘要:** 为确定某淮河大桥右汊航道桥(钢箱系杆拱桥)的吊杆张拉顺序, 提出 3 种吊杆张拉方案, 采用 MIDAS/Civil 建立全桥有限元模型, 使用倒拆分析法对比分析 3 种方案下的吊杆张拉控制力和结构内力。结果表明, 从中拱对称向两边拱交替张拉的初始控制力良好, 拱肋受力更均匀合理, 推荐选择该方案进行施工。

**关键词:** 桥梁; 钢箱拱桥; 吊杆张拉; 倒拆分析法

中图分类号: U445.35

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)01-0126-03

通过对吊杆张拉力、张拉顺序的调整, 可改变施工过程中的结构受力, 使其在成桥阶段达到合理受力状态。合理的吊杆张拉顺序不仅可有效改善施工过程中系梁和拱肋的受力情况, 而且能保证结构内力线性变化。该文以钢箱系杆拱桥为研究对象, 分析其不同吊杆张拉顺序下的结构受力行为, 据此选择合适的施工顺序。

## 1 工程概况

某淮河大桥右汊航道桥为钢箱系杆拱桥, 跨径布置为(110+180+110) m。拱圈及主梁均采用钢箱结构, 拱肋系统由中拱肋、边拱肋及拱顶风撑等构件组成。顺桥向, 中拱跨径 180 m, 立面矢高 44.5 m, 拱轴线为悬索线; 两侧边拱跨径 110 m, 立面矢

高 27.25 m, 拱轴线为悬索线。横桥向, 全桥由双槓拱肋组成, 拱肋间距 29.5 m。双槓拱肋间通过风撑连接, 保证拱肋的横向稳定性, 中拱设置 7 道风撑, 边拱设置 4 道风撑。钢梁部分采用主纵梁、端横梁、中横梁及小纵梁共同组成钢梁格体系, 桥面采用钢折板与砼组合桥面板。全桥系杆共 96 根, 吊杆沿桥轴水平方向吊点标准中心距 7.5 m, 吊杆采用 A15-19 钢绞线整束挤压式拉索体系, 采用 HDPE 护套索体防止风雨激振, 上、下锚点均为穿销铰。以中拱跨中为轴线对称编号, 编为 24 组, 编号为 H24→H1, 桥梁上下游 2 根吊杆为 1 组, 向北侧边拱编号 HN24→HN1, 向南侧边拱编号 HS24→HS1, 其中 HN1、HS1、HN13、HS13、HN14、HS14 为刚性吊杆, 不需张拉。拱桥的吊杆编号见图 1。

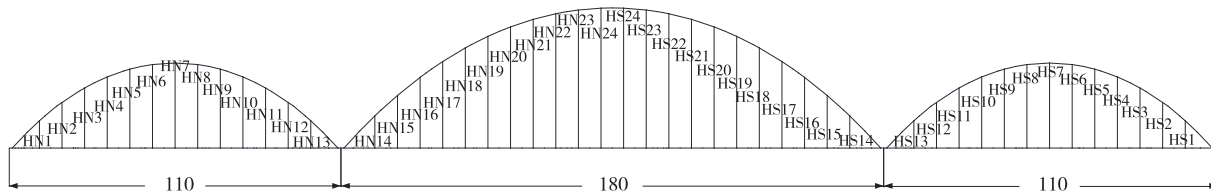


图 1 吊杆编号(单位: m)

## 2 吊杆张拉方案的确定

(1) 吊杆张拉顺序。为明确吊杆张拉顺序, 确定与该张拉顺序对应的吊杆张拉控制力, 提出以下 3 种吊杆张拉方案: 1) 先两边拱同时从拱脚两侧对称依次向跨中张拉(H2→H7, H11→7), 再从中拱的两拱脚对称依次向中拱跨中张拉(H15→H24); 2) 先由中拱的跨中向两侧拱脚对称张拉(H15→

H24), 再由两边拱同时从跨中向两端拱脚对称张拉(H7→H2, H11→H7); 3) 从中拱拱顶开始采用交替对称张拉的方式张拉, 张拉两边拱时南北两侧同时对称张拉, 北侧张拉顺序为 HN24→HN22→HN21→HN19……HN15→HN7→HN6, HN8→HN4, HN10→HN3, HN11→HN22→HN20→HN16→HN5, HN9→HN2, HN12。

(2) 吊杆张拉控制力。目前常用的确定施工阶

段吊杆张拉控制力的方法有倒拆分析法、正装—倒拆迭代法、正装迭代法和影响矩阵法等。该桥采用倒拆分析法,当目标吊杆索力值确定后,根据倒拆分析法即可得到既定吊杆张拉顺序对应的吊杆张拉控制力。根据吊杆目标索力取值的不同,吊杆张拉方案可分为单批次张拉方案和多批次张拉方案。对于单批次张拉方案,通常将成桥吊杆索力设为目标吊杆索力,然后根据张拉顺序选择特定的算法确定吊杆初始张拉控制力;对于多批次张拉方案,需设定多级目标值。

3 桥梁有限元模型

利用 MIDAS/Civil 建立该桥施工阶段模型,模拟分析吊杆张拉施工过程。模型共划分为 8 793 个节点、6 762 个单元(见图 2)。通过有限元软件对结构进行倒拆分析,计算每拆除一个施工阶段对剩余结构的影响,最终得到各吊杆的初始张拉力和吊杆张拉顺序。

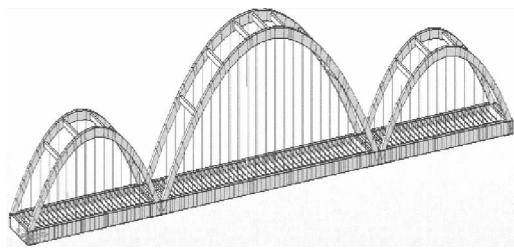


图 2 桥梁有限元模型

4 吊杆张拉方案分析

4.1 张拉控制力

根据 3 种吊杆张拉方案对应的张拉顺序,采用倒拆分析法得到相应吊杆张拉顺序对应的吊杆张拉控制力,通过分析张拉过程中结构应力变化确定合理张拉顺序。每根吊杆对应的吊杆张拉控制力可视作这根吊杆张拉完毕时的吊杆索力,该吊杆索力在后续吊杆张拉过程中会发生变化(增大或减小,并逐渐变化至吊杆目标索力)。该桥采用对称张拉,选取北侧吊杆编号进行分析,吊杆张拉控制力见表 1。

由表 1 可知:1) 方案 1 下,吊杆 HN15 的张拉控制力最大,为 4 245 kN,不符合规范要求;方案 2 下,吊杆 HN7 的张拉控制力最大,为 3 355 kN;方案 1 下的吊杆张拉控制力普遍大于方案 2,可认为方案 2 优于方案 1,即从中拱对称依次张拉优于从边拱对称依次张拉。2) 对比分析张拉过程中初始

表 1 3 种吊杆张拉方案下的吊杆张拉控制力

吊杆编号	吊杆张拉控制力/kN		
	方案 1	方案 2	方案 3
2	2 568(1)	963(16)	1 306(16)
3	2 198(2)	1 051(15)	1 146(11)
4	1 605(3)	1 204(14)	1 238(10)
5	1 148(4)	1 352(13)	1 212(15)
6	706(5)	1 511(12)	1 161(9)
7	504(6)	3 355(11)	1 788(8)
8	706(5)	1 511(12)	1 205(9)
9	1 148(4)	1 352(13)	1 168(15)
10	1 605(3)	1 204(14)	1 128(10)
11	2 198(2)	1 051(15)	1 122(11)
12	2 568(7)	963(16)	1 297(16)
15	4 245(8)	870(10)	1 056(7)
16	3 944(9)	924(9)	1 318(14)
17	3 475(10)	1 056(8)	1 221(6)
18	3 185(11)	1 220(7)	1 315(5)
19	2 974(12)	1 351(6)	1 361(4)
20	2 608(13)	1 505(5)	1 240(13)
21	2 284(14)	1 571(4)	1 534(3)
22	1 974(15)	1 418(3)	1 343(12)
23	1 596(16)	1 107(2)	1 237(2)
24	1 104(17)	1 079(1)	1 216(1)

吊杆力的变化,方案 2 的变化幅度大(870~3 355 kN),方案 3 的变化幅度小(1 056~1 788 kN),张拉过程中对方案 3 可进行设备控制,可认为方案 3 优于方案 2,即采用对称交替张拉方式优于对称依次张拉。

4.2 结构内力

通过有限元分析得到 3 种吊杆张拉方案下拱肋关键截面的应力变化(见图 3~5)。

由图 3~5 可知:1) 在 3 种吊杆张拉方案对应张拉过程中,方案 1 的最大拉应力为 313 MPa,超过应力允许值,不符合规范要求,可将方案 1 排除。2) 方案 2 吊杆张拉过程中,应力为-43.7~85.2 MPa,在规范要求范围内,但在张拉边拱时边拱拱肋应力

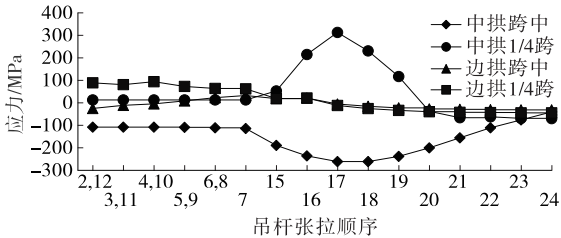


图 3 方案 1 下拱肋关键截面的应力变化

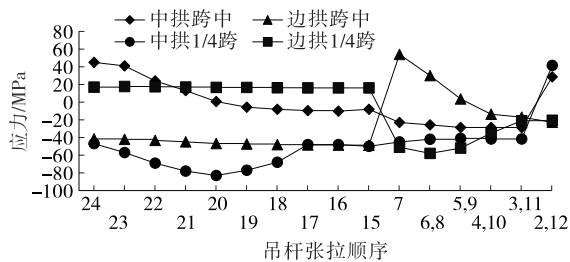


图4 方案2下拱肋关键截面的应力变化

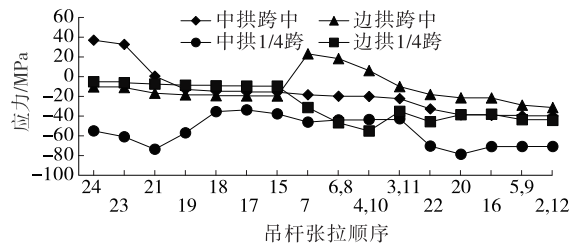


图5 方案3下拱肋关键截面的应力变化

突变。3) 方案3吊杆张拉过程中,应力为 $-73.8 \sim 37$  MPa,结构强度安全,与方案2相比其拱肋受力情况有较大幅度改善,呈线性变化。因此,可认为方案3优于方案2,即从中拱对称交替张拉优于从中拱对称依次张拉。

## 5 结论

(1) 对称依次张拉吊杆的方式具有施工方便快捷的优点,但易造成张拉过程中拱肋局部应力过大,增加张拉的不安全性;对称交替张拉吊杆方式可使

张拉过程中拱肋的应力分布更加合理,但需往复移动张拉设备,操作复杂。

(2) 从中拱开始对称交替张拉使结构受力更合理,拱肋的应力分布呈线性,优于从边拱开始张拉,且从跨中开始张拉优于从拱脚区开始张拉。

(3) 该桥实际施工中采用从中拱对称交替张拉方案,拱肋应力和吊杆索力均保持了良好的线性变化,都在合理变化范围内,有效保证了吊杆张拉过程的安全。

## 参考文献:

- [1] 肖汝诚,项海帆.斜拉桥索力优化及其工程应用[J].计算力学学报,1998,15(1).
- [2] 虞建成,邵容光,王小林.系杆拱桥吊杆初始张拉力及施工控制[J].东南大学学报:自然科学版,1998,28(3).
- [3] 韦伟,张俊平.吊杆张拉程序对拱梁组合体系内力影响的分析[J].广州大学学报:自然科学版,2012,11(2).
- [4] 陈强,黎曙文,瞿国召,等.滁河特大桥吊杆张拉控制力计算[J].桥梁建设,2011(6).
- [5] 韩保勤.钢管混凝土拱桥吊杆张拉方案的比选[J].桥梁建设,2015(1).
- [6] 杨俊.基于影响矩阵的大跨度桥梁合理成桥状态与施工控制研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.
- [7] 易云焜.梁拱组合体系设计理论关键问题研究[D].上海:同济大学,2007.

收稿日期:2017-05-06

(上接第125页)

了钢桥的防腐涂装问题,波形钢腹板的运用解决了钢筋砼的腹板开裂问题,界面胶的研发解决了钢桥桥面铺装的层间滑移问题,聚合物砼的研究解决了传统砼抗折强度低的弊病,结构性能优、承载能力高、成桥速度快、建设成本低等优点使其既可用于高速公路、各等级公路及城市交通,亦可作为战备交通的储备梁。但该组合结构采用等截面设计,仅适用于中小跨径,若在大跨径、特大跨径中应用,则需进行变截面设计、体外预应力技术、构造优化等措施方可实现,同时其抗震性能、疲劳损伤、应力应变等尚需深入研究。

作为一种全新的结构,探索钢箱叠合梁的优化改进将成为未来研究重点。为进一步适应远距离运输需要,将整片钢箱叠合梁化整为零,将各构件运输至现场而后拼装,真正意义上实现构件的装配化施

工,从而很大程度上降低运输成本、提高施工效率;针对不同跨径组合开发相匹配的全新组合结构,使其满足经济效益和施工便利的双重指标;突破传统设计理念和施工工艺,配套研发全新土石复合桩基础、立柱、盖梁及防撞护栏等,实现基础、下部结构、上部结构及附属结构的整体性装配化施工。这些对于建设快速交通具有深远意义,也是今后努力创新的方向。

## 参考文献:

- [1] 苏立超.装配式组合钢箱梁在桥梁工程中的应用[J].施工技术,2015,44(17).
- [2] 贺君,刘玉擎,陈艾荣.折腹式组合箱梁桥设计要点及结构分析[J].桥梁建设,2008(2).

收稿日期:2017-06-17